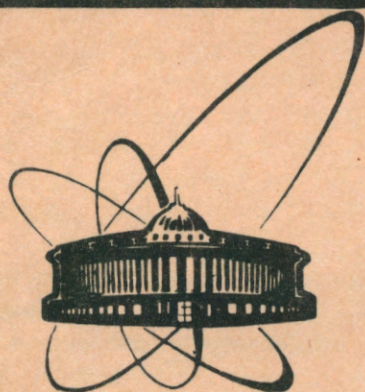


91-320



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P3-91-320

А.В.Даниэль*, В.Ю.Перов*, Е.А.Сокол

ПРОГРАММА SITNA.

НОВАЯ ВЕРСИЯ МНОГОГРУППОВОЙ СИСТЕМЫ
НЕЙТРОННЫХ СЕЧЕНИЙ GR175-V1

*Радиевый институт им.В.Г.Хлопина, Ленинград

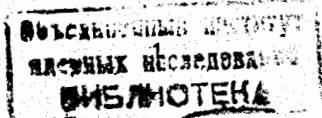
1991

ВВЕДЕНИЕ

В работе^{1/} нами была рассмотрена организация многогрупповой системы нейтронных констант GR175, используемой в комплексе программ SITHA для моделирования переноса нейтронов с энергией ниже 20 МэВ методом Монте-Карло. Названная система констант успешно использовалась нами при изучении нейтронных полей, генерируемых в протяженных мишенях из тяжелых элементов, облучаемых пучками адронов высокой энергии^{2/}. Однако область применения комплекса программ была существенно расширена в следующих основных направлениях: моделирование больших детектирующих систем; расчет энерговыделения и спектров потоков нейтронов в узлах сложных конструкций, в состав которых входят легкие элементы^{3/}; изучение распространения потоков нейтронов в атмосфере Земли на различных высотах. Общим для всех этих направлений является наличие легких элементов в составе моделируемых объектов. Следствием этого явилась необходимость более корректного описания прямых процессов (n , $2n$) и реакций с вылетом нейтрона и заряженной частицы. Данная задача, а также ряд мелких недостатков, затрудняющих использование системы констант GR175 и проявившихся только в процессе эксплуатации, привели к ее существенной модификации. Общая идеология организации системы констант^{1/} была сохранена. В тоже время задача согласования новой системы констант, получившей название GR175-V1, со старой версией не ставилась, для нее был написан свой физический модуль и свой интерфейс с геометрическими модулями, входящими в комплекс программ SITHA.

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ НЕЙТРОННЫХ КОНСТАНТ GR175-V1

Модификация системы групповых нейтронных констант GR175 коснулась следующих основных моментов. Во-первых, для описания энергетических спектров нейтронов, образующихся в реакциях (n , $2n$), (n , $3n$) и в реакциях с вылетом заряженных частиц, введена матрица межгрупповых переходов. Осуществлена возможность приближенного учета анизотропии углового распределения вылета нейтронов в указанных реакциях. Во-вторых, максимально возможное число подгрупп в группе было увеличено до пяти, что позволяет надеяться на более качественное описание области резонансов. Другие изменения не носили столь принципиального характера и были направлены на ликвидацию мелких недостатков старой системы констант, влияющих на эффективность ее использования.



Как отмечалось выше, общая идеология организации структуры системы констант¹¹ была сохранена. Информация об одном элементе хранится в двух последовательных записях. Первая запись, всегда фиксированной длины, является заголовком и содержит, в частности, размер второй записи. Вторая запись, информационная, содержит собственно групповые константы для данного элемента. Информационная запись может быть считана в один массив, при этом доступ к отдельным блокам данных, относящихся к одной группе, осуществляется с помощью косвенной адресации, а для доступа к данным внутри блока дополнительно необходим анализ контрольного слова, относящегося к данному блоку и входящему в его состав.

В контрольном слове (32 бита) содержится вся служебная информация о группе, которая включает следующие сведения: наличие в группе подгруппового описания сечений — нулевой бит; о каждой реакции (отводится блок из трех последовательных битов) — нулевая или не нулевая вероятность реакции в данной группе — второй бит в блоке, является ли описание реакции последним в группе — первый бит в блоке, имеется ли информация об угловом распределении нейтронов или распределение изотропное — третий бит в блоке. Такой подход позволяет существенно "сжать" объем необходимых данных для одного элемента, что по-прежнему остается актуальной задачей при проведении нейтронных расчетов на ЭВМ.

В системе групповых констант GR175-V1, для одного элемента, могут содержаться следующие данные.

Сечения — полные, реакции (n, γ), упругого рассеяния, деления, неупругого рассеяния на дискретных уровнях (допускается задание до 40 уровней), неупругого рассеяния на перекрывающихся уровнях, а также сумма сечений реакций ($n, 2n$), ($n, 3n$) и реакций с вылетом нейтрона и заряженных частиц, сумма сечений реакций исчезновения нейтрона за вычетом сечения реакции (n, γ). Первые четыре типа сечений могут иметь подгрупповое описание.

Данные для описания угловых распределений нейтронов в реакциях упругого рассеяния и в реакциях, моделируемых матрицей межгрупповых переходов. Угловое распределение задается в каждой энергетической группе, где оно не изотропно, таблицей косинусов C_i , определяющих равновероятные угловые интервалы вылета нейтронов.

Данные для описания энергетических распределений нейтронов: в реакции деления — среднее число нейтронов деления и температура спектра деления для каждой группы; в реакциях неупругого рассеяния на перекрывающихся уровнях — температура испарительного спектра и два значения энергии обрезания спектра сверху и снизу; в реакциях ($n, 2n$), ($n, 3n$) и реакциях с вылетом нейтронов и заряженных частиц — матрица межгрупповых переходов.

СХЕМА ПОДГОТОВКИ ГРУППОВЫХ КОНСТАНТ

Упрощенная схема подготовки групповых констант представлена на рис.1. Были использованы комплексы программ TSP (LINEAR/RESENT/SIGMA1/

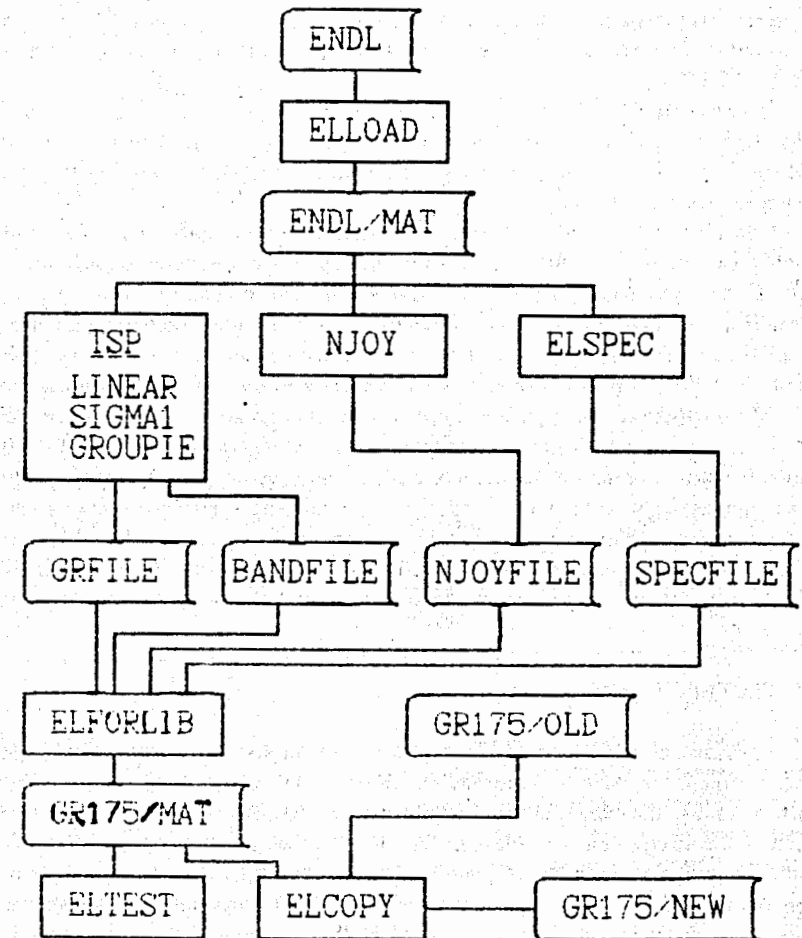


Рис. 1. Схема подготовки системы групповых констант GR175-V1.

GROUPIE)¹⁴ для подготовки групповых сечений и подгрупповых параметров, NJOY¹⁵ для подготовки матрицы межгрупповых переходов, а также создан ряд оригинальных программ.

ELLOAD представляет собой диалоговую программу с встроенным каталогом библиотек оцененных нейтронных данных ENDL-78 и ENDL-84. В программе реализованы следующие возможности: вывод на экран дисплея каталога выбранной библиотеки, листание каталога и отметки интересующих нуклидов, выдачи запроса оператору на установку необходимой магнитной ленты с библиотекой, контроль правильности установки ленты и копирование отмеченных нуклидов

на диск. Программа написана на языках высокого уровня REXX и Фортран и использует пакет DMS для организации удобного диалога в системе СВМ ЕС ЭВМ.

Программа ELSPEC служит для подготовки данных по угловому распределению нейтронов и рассмотренных выше параметров, необходимых для описания энергетических спектров нейтронов в реакциях деления и неупругого рассеяния на перекрывающихся уровнях.

Программа ELFORLIB считывает все данные для одного нуклида, выполняет проверку полноты данных и их внутреннюю непротиворечивость, формирует необходимую структуру данных с целью их максимального уплотнения и записывает их на диск. Программа ELTEST считывает подготовленные данные и проверяет их структуру, с заданной степенью детализации. Программа ELCOPY позволяет дополнять, обновлять и копировать библиотеку групповых констант.

Обращение ко всем перечисленным программам и комплексам программ реализовано в виде пакета процедур на языке REXX в системе СВМ ЕС ЭВМ. Созданный пакет процедур позволяет эффективно изменять исходные данные для всех программ и комплексов программ, передавать между ними необходимые файлы, единым образом переключать направление выдачи информации о работе программ — терминал, дисковый файл или виртуальное АЦПУ. В случае сбоя предусмотрена возможность возобновления работы с прерванной программы.

ТЕСТИРОВАНИЕ

Текущая версия системы групповых нейтронных констант GR175-V1 была подготовлена на базе библиотеки оцененных нейтронных данных ENDL-84. Для тестирования вычислений по программе SITHA, связанных с решением задач о переносе нейтронов в средах, состоящих из легких элементов ($A < 30$ а.е.м.), были выбраны простые интегральные эксперименты $^{6-10}$ по определению потоков нейтронов из водяных, углеродных, азотных, кислородной и алюминиевой сферических мишеней. Источником 14 МэВ нейтронов являлась реакция взаимодействия пучка 400 кэВ дейтронов с тритиевой мишенью, помещаемой в центр изучаемых образцов. Измерения проводились по времяпролетной методике. Отбор тестовых экспериментов определялся требованием по возможности более полного описания условий измерений и характеристик облучаемых образцов, а также практической значимости материалов мишеней.

Сводка основных сведений о мишенях приведена в таблице, где через l обозначена средняя длина свободного пробега нейтрона, R — радиус мишени (для сферической слоевой алюминиевой мишени — минимальный и максимальный радиусы), ϑ — угол между направлением из центра мишени на детектор нейтронов и направлением движения пучка дейтронов, L — расстояние от источника до детектора нейтронов.

Таблица. Основные характеристики мишеней $^{6-10}$, использованных в расчетах

Материал	l	Плотность, г/см ²	R, см	ϑ	L, см	
H ₂ O	1,0	0,998	10,48	27	754	/8/
	1,8	0,998	19,05	27	754	/8/
C	1,3	1,780	10,60	30	766	/6,9/
				120	975	/9/
	2,9	1,847	20,96	30	766	/9/
				120	975	/9/
N	1,0	0,808	19,05	27	763,3	/6/
	3,0	0,808	55,84	30	768	/7/
O	0,73	1,132	10,48	27	754	/7/
Al	0,5	1,22	20,00	55	1050	/10/
			39,00			

В проведенных нами расчетах моделирование источника нейтронов осуществлялось по аналогии с методом, описанным в работах 6,8 . Углы вылета нейтронов из точечного источника разыгрывались в соответствии с экспериментальной зависимостью 6,8 потока нейтронов источника от угла ϑ . Энергия нейтрона, вылетающего из источника под полученным таким способом углом, определялась по известному кинематическому соотношению 11 :

$$E_n = E_d \frac{m_d m_n}{(m_n + m_\alpha)^2} \left\{ 2 \cos^2 \vartheta + \frac{m_\alpha (m_\alpha + m_n)}{m_d m_n} \left[\frac{17.6}{E_d} + \left[1 - \frac{m_d}{m_\alpha} \right] \right] + 2 \cos \vartheta \sqrt{\cos^2 \vartheta + \frac{m_\alpha (m_\alpha + m_n)}{m_d m_n} \left[\frac{17.6}{E_d} + \left[1 - \frac{m_d}{m_\alpha} \right] \right]} \right\},$$

где E_d — энергия дейтрона (МэВ), m_α , m_d , m_n — массы α -частицы, дейтрона и нейтрона.

Ввиду отсутствия доступной информации об энергетическом распределении дейтронов в пучке, моделирование рассмотренным выше способом было прове-

дено независимо для двух значений "средней" энергии замедляющихся в тритиевой мишени дейтронов $E_d = 150$ кэВ и $E_d = 250$ кэВ. Вычисленные указанным способом значения энергии нейтронов источника ($E_n = 14,9$ МэВ и $E_n = 15,1$ МэВ, соответственно, при $\vartheta = 27^\circ$) попадают в одну энергетическую группу 175-групповой системы констант, что приводит к практически совпадающим результатам моделирования (рис.3а,б).

При расчетах спектров утечки учитывался вклад в потоки от нейтронов, пересекающих 15° -дугу радиуса L , расположенную симметрично относительно на-

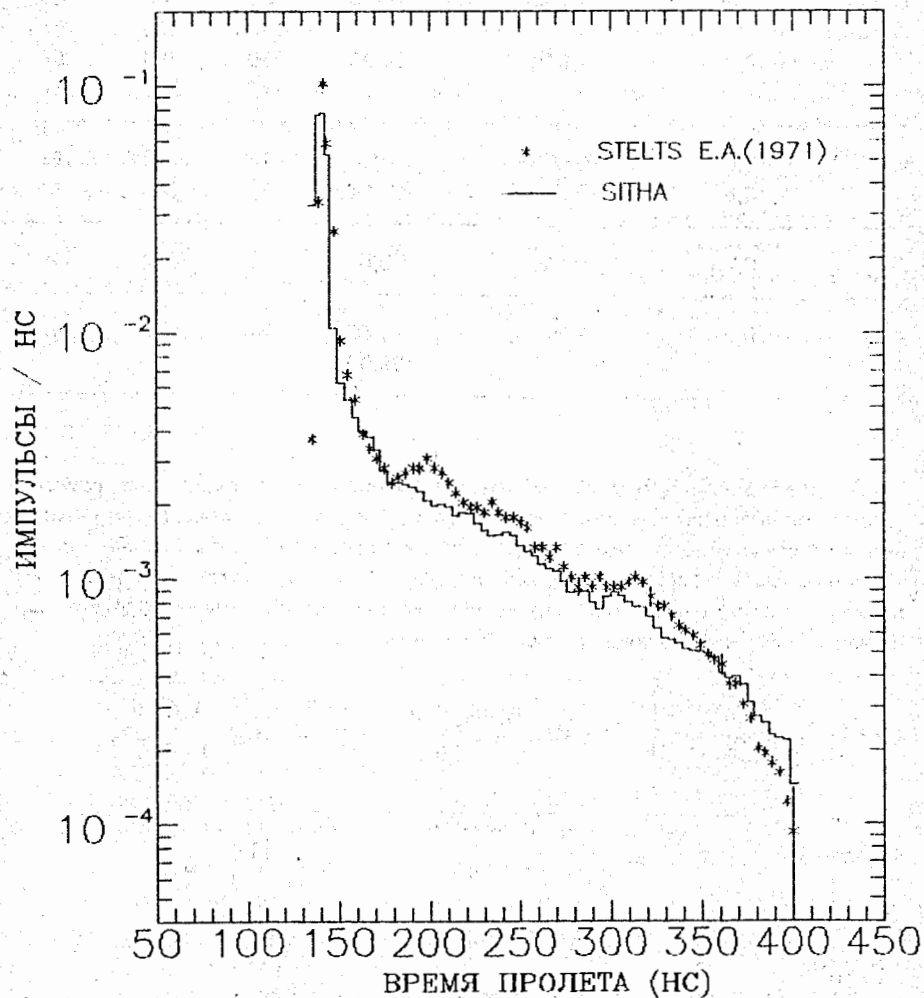


Рис.2. Спектр нейтронов утечки из водяного шара радиуса 10,48 см.

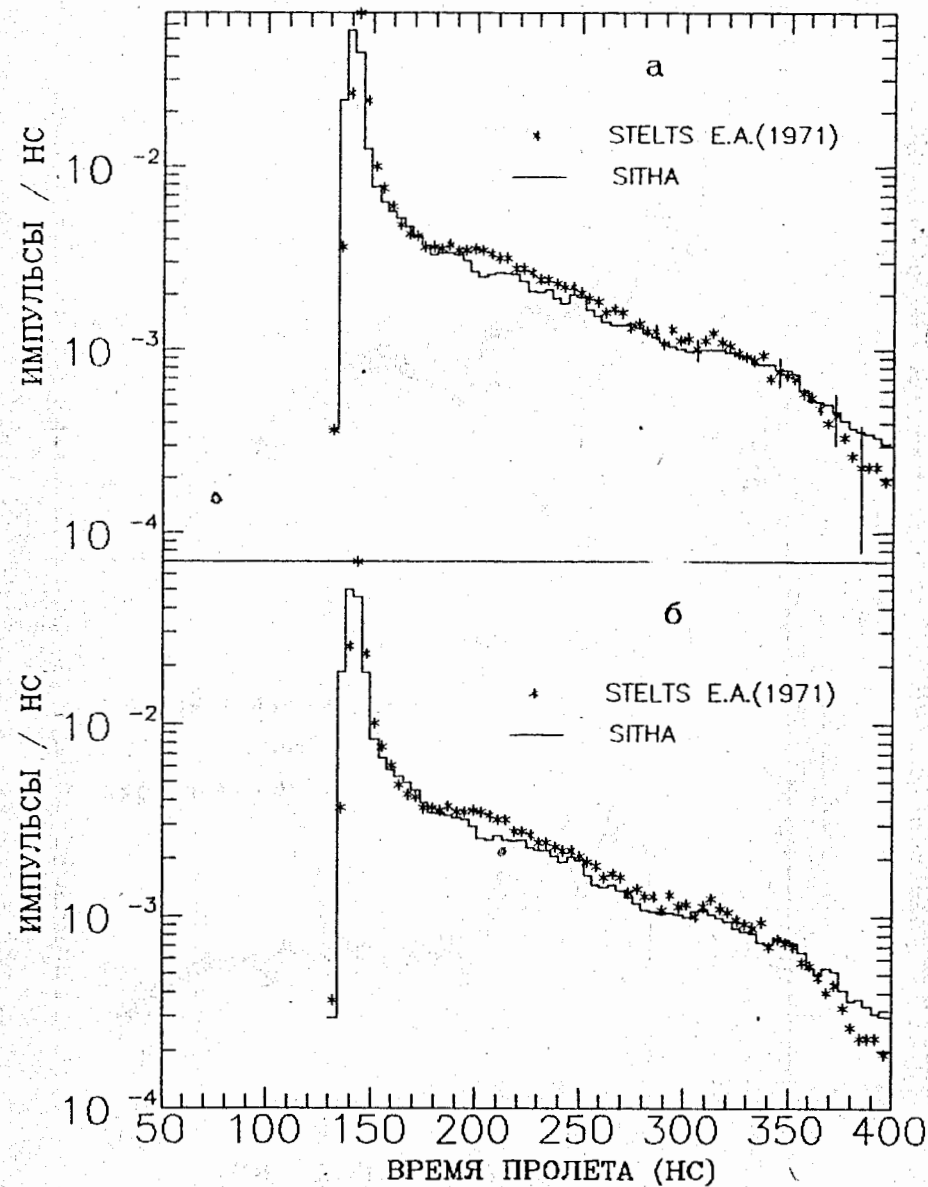


Рис.3. Спектры нейтронов утечки из водяного шара радиуса 19,05 см: а – расчет при $E_d = 250$ кэВ; б – расчет при $E_d = 150$ кэВ.

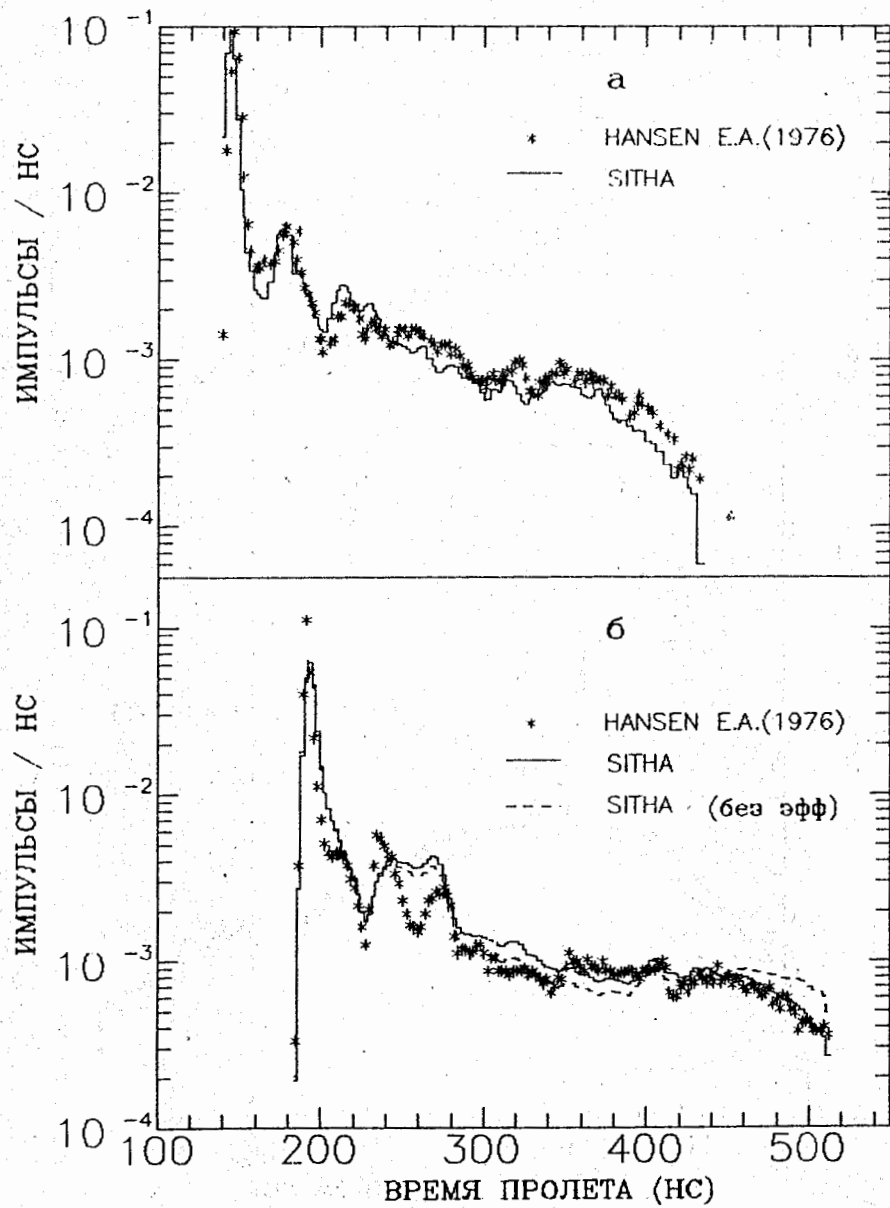


Рис.4. Спектры нейтронов утечки из углеродного шара радиуса 10,60 см под углами к оси пучка дейтронов: а – 30°; б – 90°.

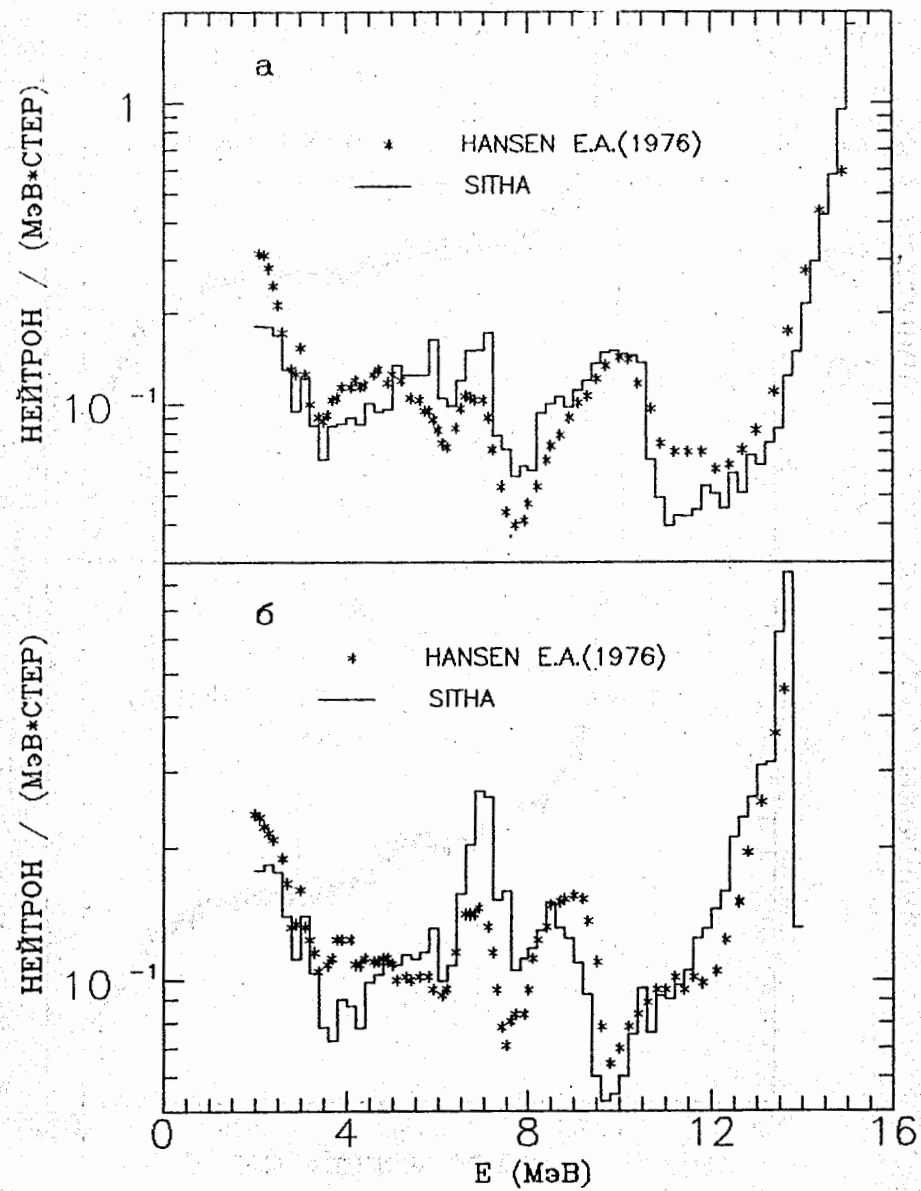


Рис.5. Спектры нейтронов утечки из углеродного шара радиуса 20,96 см под углами к оси пучка дейтронов: а – 30°, б – 120°.

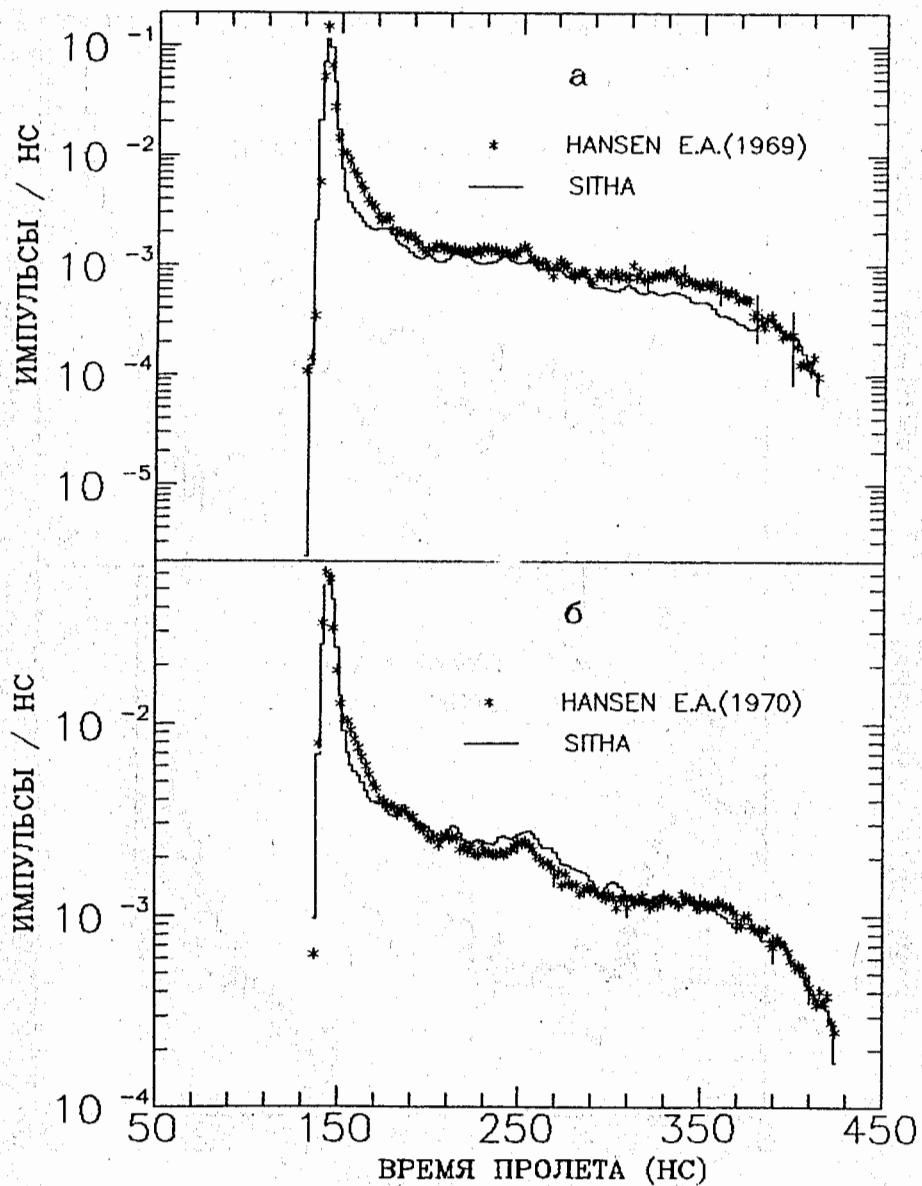


Рис.6. Спектры нейтронов утечки из азотных шаров радиусами: а — 19,05 см; б — 55,84 см.

правления на детектор. Для сравнения с результатами экспериментов в вычисления по программе SITHA вносилась поправка на эффективность использованных детекторов нейтронов Pilot В^{6,8} и NE-213¹². Полученные при моделировании времяпролетные спектры потока нейтронов корректировались с учетом временного разрешения детектирующей системы путем свертки рассчитанного спектра с гауссианой, дисперсия которой на основании приведенных в¹⁶⁻⁹ графиков была принята равной 2 нс.

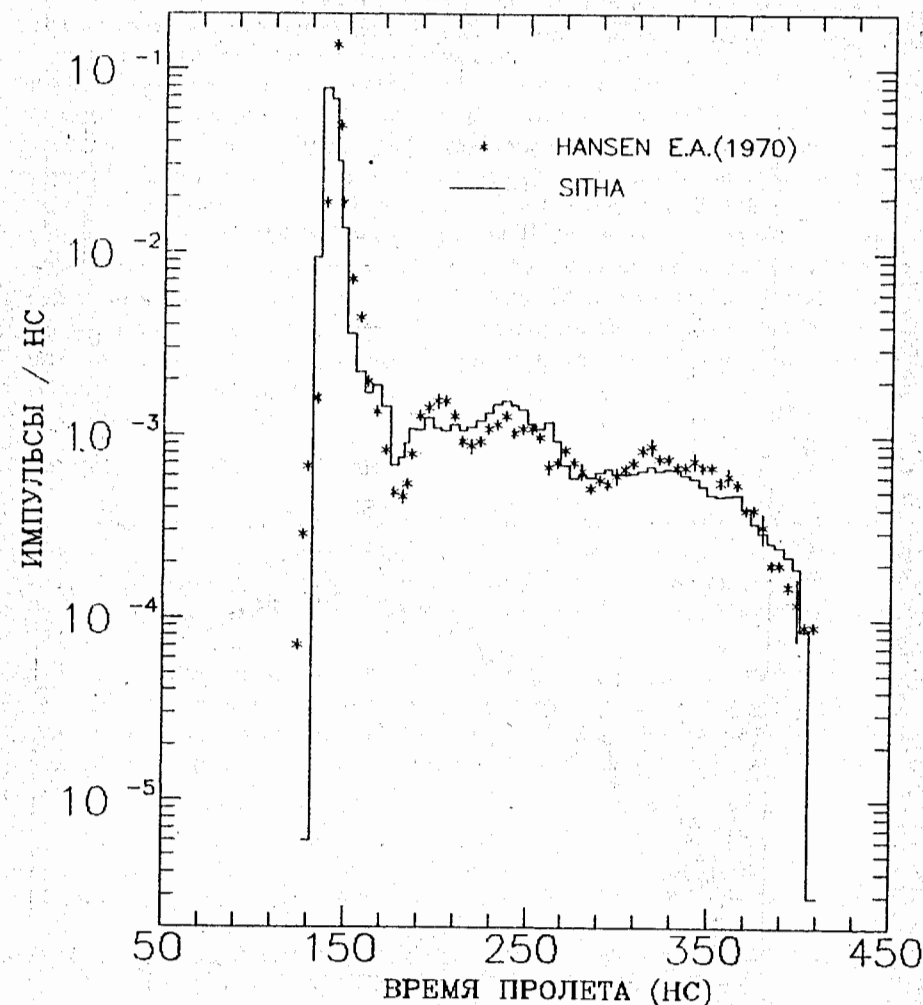


Рис.7. Спектр нейтронов утечки из кислородного шара радиуса 10,48 см под углом 27° к оси пучка дейтронов.

Результаты наших расчетов и интегральных экспериментов ¹⁶⁻¹⁰ / приведены на рис.3-8. Все кривые, за исключением кривых на рис.5 и рис.8, нормированы к единичным площадям под графиками. Отсутствие полной экспериментальной информации в случае углеродных и алюминиевых мишеней, рис.5 и рис.8 соответственно, не позволяет корректно учесть временное разрешение детектирующей системы, что приводит к существенным ошибкам воспроизведения пика упругого рассеяния при расчетах энергетических спектров нейтронов утечки из мишеней. Для устранения влияния этих ошибок на ход кривых вне пика упругого

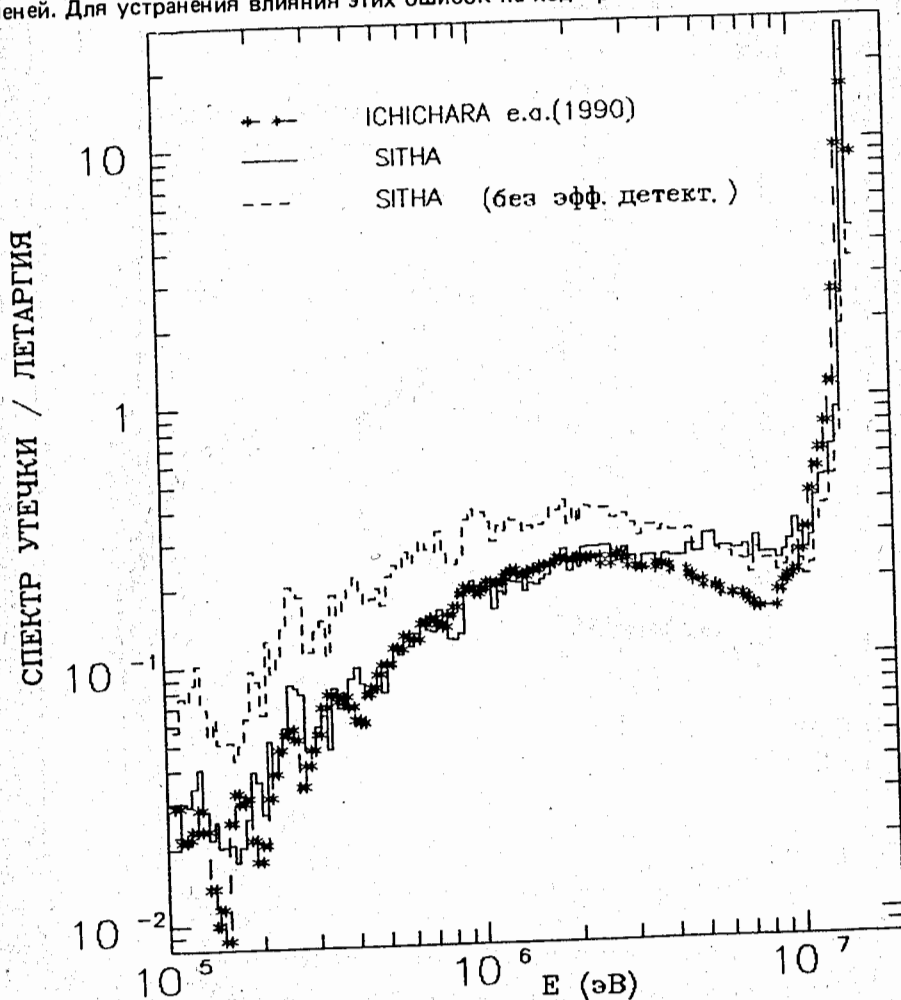


Рис.8. Спектр нейтронов утечки из алюминиевого шарового слоя под углом 55° к оси пучка дейтронов.

рассеяния, спектры на рис.5 и рис.8 нормированы к единичным площадям в пределах 2-10 МэВ и 0,1-6 МэВ соответственно. Ошибки вычислений составляли не более 0,5-1,5% в области пика упругого рассеяния и не более 15-20% вне пика. Ошибки измерений приводятся на графиках.

Вычисленные спектры нейтронов утечки из водяных (рис.3), азотных (рис.6), кислородной (рис.7) мишеней хорошо согласуются с экспериментальными данными. Наибольшие расхождения с экспериментом для водяных мишеней при времени пролета нейтронов около 200 нс обусловлены, по-видимому, недостаточно точным описанием неупругого взаимодействия нейтронов с ядрами кислорода (рис.7). Проверка групповых микроскопических сечений для углерода, полученных на основе библиотеки оцененных нейтронных данных ENDF-84, показала наличие уровня 10,1 МэВ, отсутствующего в файле ENDF/B-VI, а также отсутствие ряда более высоко лежащих уровней. Это приводит к 50% ошибкам воспроизведения спектров утечки нейтронов из углеродных мишеней в 3 длины свободного пробега при энергии регистрации нейтронов 4-12 МэВ (рис.5). Отметим, что ранее наблюдалось неудовлетворительное описание спектров нейтронов, неупругого рассеянных на ядрах углерода, при использовании файлов оцененных нейтронных данных ENDF/B-III и ENDF/B-IV. Так, например, в работе ¹² / авторы достигают хорошего согласия с экспериментальными спектрами путем привлечения данных ¹³ / по измерению сечений рассеяния нейтронов на ядрах углерода в области энергий 8-15 МэВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданная версия групповых нейтронных констант GR175-V1 позволяет с приемлемой точностью моделировать перенос нейтронов в средах, состоящих из легких элементов. Точность получаемых результатов в определяющей степени зависит от точности исходных данных, содержащихся в библиотеках оцененных нейтронных данных.

Дальнейшее развитие системы констант, в первую очередь, связано с учетом угловых распределений нейтронов при рассеянии на выделенных уровнях. Актуальным также остается подготовка версии системы констант на базе библиотеки оцененных нейтронных данных ENDF/B-VI.

ЛИТЕРАТУРА

1. Даниэль А.В., Душин В.Н. — ВАНТ Сер. Ядерные константы, Вып.2, М.: Атомиздат, 1986, с.20.
2. Даниэль А.В., Душин В.Н. — Препринт РИ-196, М.: ЦНИИАтоминформ, 1987.
3. Daniel A.V. et al. — Muon Catalyzed Fusion, 1989, v.4, p.133.
4. Cullen D.E. — Report UCRL-50400, v.17, Part.A-B, 1979, Part C-D, 1980, Lawrence Livermore Laboratory, Calif.

5. MacFarlane R.E. — Report LA-9302-M (ENDF-324), v.I-II, 1982, v.III-IV, 1987.
6. Hansen L.F. et al. — Nucl. Sci. and Engineering, 1969, v.35, p.227.
7. Hansen L.F. et al. — Nucl. Sci. and Engineering, 1970, v.40, p.262.
8. Stelts M.L. et al. — Nucl. Sci. and Engineering, 1971, v.46, p.53.
9. Hansen L.F. et al. — Nucl. Sci. and Engineering, 1976, v.60, p.27.
10. Ichihara C. et al. — JAERI-M, 90-025, 1990, p.5.
11. Интегральные эксперименты в проблеме переноса ионизирующих излучений. Справочное руководство. Ред. Л.А.Трыков, М.: Энергоатомиздат, 1985, с.272.
12. Sekimoto H. et al. — J. Nucl. Sci. and Technol., 1985, v.22, p.174.
13. Haouat G. et al. — Nucl. Sci. and Engineering, 1978, v.65, p.331.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 июля 1991 года.